

УДК 621.771.237.073:621.822.84 Шмельков Д. Е. Л., Голобоков В. С., Артюх В. Г.

## НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОПОРНЫХ УЗЛОВ РАБОЧИХ ВАЛКОВ КЛЕТЕЙ КВАРТО

Высокая стоимость подшипниковых узлов валков прокатных станов заставляет искать пути увеличения их срока службы.

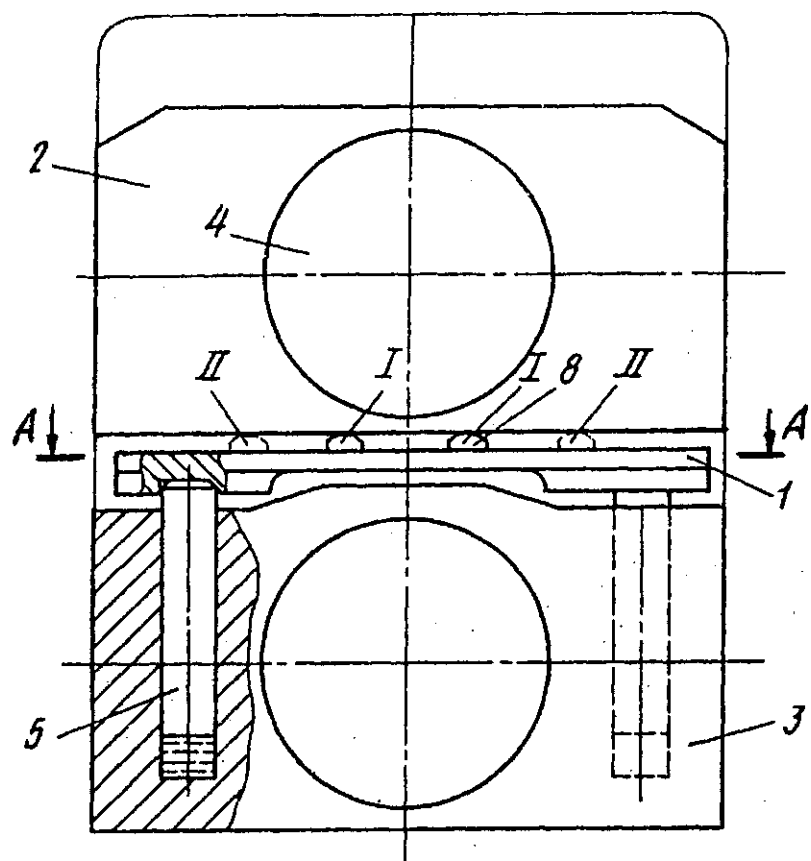
Как известно [1], срок службы подшипников зависит от распределения радиальных нагрузок на тела качения - наибольшую долговечность подшипникового узла обеспечивает равномерное распределение радиальных усилий по дуге нагружения подшипника.

Рассмотрим конструкцию типового опорного узла прокатного стана кварто. Она включает установленные в проемах станин подушки верхнего и нижнего рабочих валков, в корпусе каждой из которых выполнены цилиндрические расточки для подшипников качения. Гидроцилиндры противоизгиба рабочих валков установлены вертикально в боковых стенках подушек нижнего валка и взаимодействуют с опорной поверхностью подушки верхнего валка. В силу необходимости размещения в расточке подушки подшипников наибольшего диаметра жесткость опорной перемычки недостаточна для оптимального распределения радиальных усилий. Такими конструктивными приемами, как выполнение опорной перемычки в виде арки, размещение кольцевого бурта в расточке подушки, выборочное уменьшение жесткости подушки дополнительными отверстиями, исходным профилированием расточки в виде овала или силовым деформированием расточки обеспечивают выравнивание радиальных нагрузок на тела качения. При этом в начальный период эксплуатации подушки создаются близкие к оптимальным условия нагружения подшипника [1, 2, 3].

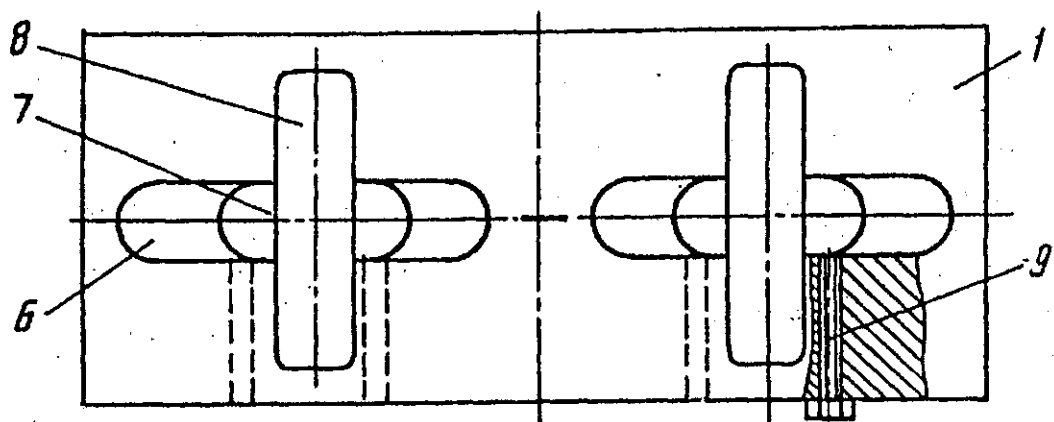
Однако в процессе эксплуатации подушки происходит выработка (износ) поверхности расточки в результате проскальзывания внешних колец подшипника в корпусе подушки. Экспериментальные исследования [4] показали, что проскальзывание колец подшипника, а, следовательно, и износ расточки происходит в период входа и выхода полосы из межвалкового зазора клетки, когда значительны горизонтальные составляющие реакции в валковых опорах. Под их действием начальная цилиндрическая форма подшипниковой расточки приобретает форму горизонтального овала, что и обуславливает искажение первоначального распределения реальных усилий на тела качения. Вместе с тем известно, что на изменение формы эпюры радиальных нагрузок существенное влияние оказывает изменение расстояния от точки приложения внешних усилий противоизгиба к опорной поверхности до вертикальной оси подушки.

На этом принципе авторами был разработан опорный узел рабочих валков клетки кварто [5] (рис. 1, 2). На плунжерах гидроцилиндра противоизгиба нижней подушки размещается дополнительная (промежуточная) балка, взаимодействующая с опорной поверхностью верхней подушки посредством опорных элементов, установленных на балке с возможностью поступательного перемещения в направлении, перпендикулярном плоскости, проходящей через оси рабочих валков. Учитывая, что усилия противоизгиба рабочих валков значительны, а пространство для размещения дополнительной балки ограничено, ее жесткость увеличена за счет применения двутаврового сечения (см. рис. 2).

Регулирование распределения радиальных нагрузок на тела качения подшипника верхнего рабочего валка осуществляется следующим образом. При монтаже опорного узла с подушкой 2 (см. рис. 1), расточка которой неизношена (т. е. имеет правильную цилиндрическую форму), равномерное распределение радиальных нагрузок при внешнем нагружении подушки усилием противоизгиба  $P_{цв}$  обеспечивают при минимальном расстоянии между элементами 8, которые фиксируются в заданном положении опорными болтами 9. Распределение



A - A



1-балка; 2-подушка верхнего рабочего валка; 3-подушка нижнего рабочего валка; 4-цилиндрическая расточка под подшипник; 5-плунжер гидропилиандра противоизгиба; 5-направляющая проточка; 7-ползун; 8-опорный элемент; 9-стопорный болт.

I- положение с минимальным расстоянием между опорными элементами;  
II- положение с максимальным расстоянием между опорными элементами.

Рисунок 1 - Опорный узел рабочих валков клетки кварто (вид с торца валков).

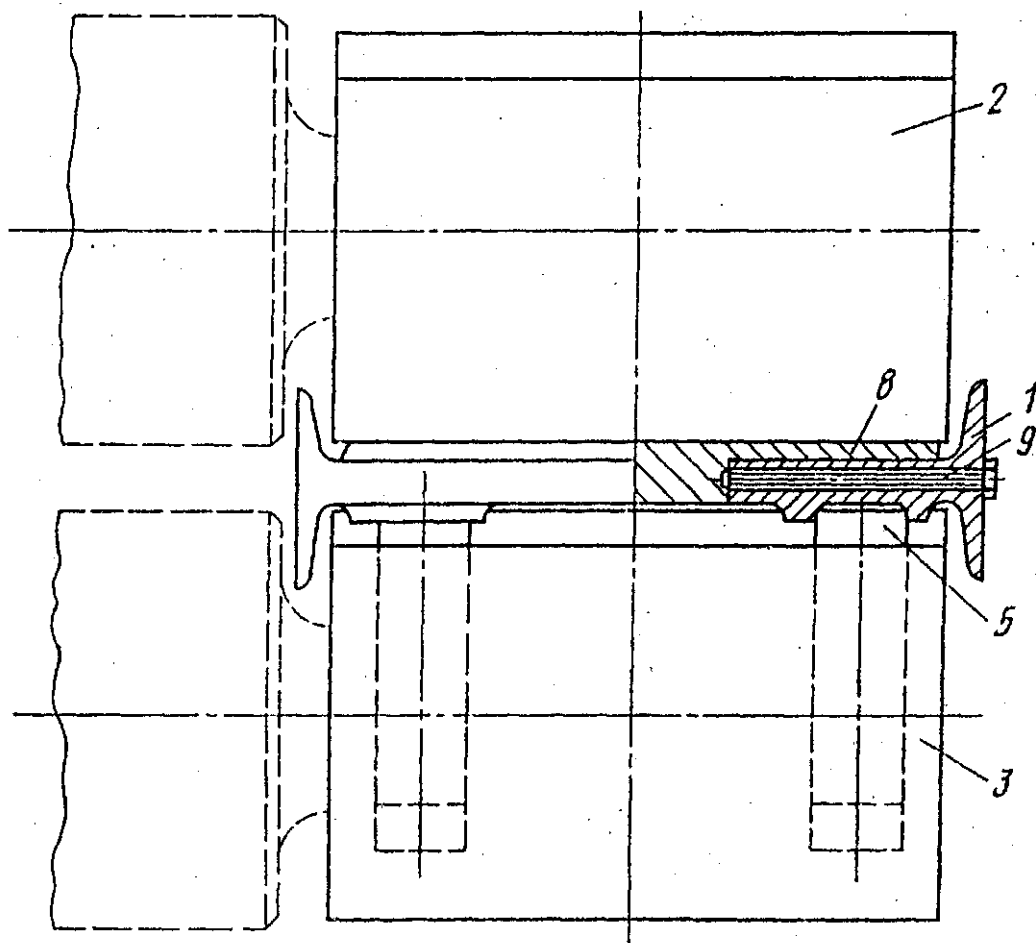


Рисунок 2 - Опорный узел рабочих валков кисти кварто (вид сбоку).

радиальных нагрузок на тела качения подшипников в этом случае описывается эпюрой, показанной на рис. 3, а.

При работе подушки в клети в результате выработки боковых поверхностей расточка приобретает форму горизонтального овала с радиальной овальностью 5 (рис. 3, б). Ослабление контактного взаимодействия тел качения с крайними участками опорной перемычки приводит к концентрации радиальных нагрузок на средних участках дуги нагружения подшипника. Для выравнивания распределения радиальных нагрузок в период перевалки рабочих валков опорные элементы 8 раздвигают. При этом вследствие увеличения "пролета" опорной перемычки уменьшается ее жесткость в перегруженных средних участках, и радиальная нагрузка перераспределяется на периферийные ненагруженные участки опорной перемычки, чем и обеспечивается выравнивание распределения радиальных усилий (рис. 3, в).

Недостатком рассмотренной конструкции является невозможность компенсации неравномерного распределения радиальных усилий на тела качения подшипника нижнего рабочего вала. Кроме того, в случае развития вертикальной овальности расточки описанная конструкция не позволяет полностью выровнять эпюру радиальных нагрузок на тела качения подшипника верхнего рабочего вала. Для устранения этого недостатка была разработана еще одна конструкция опорного узла рабочих валков клети кварто [6] (рис. 4). Дополнительная (промежуточная) балка выполнена разрезной в плоскости симметрии. Образовавшиеся свободные концы каждой части балки снабжены дополнительными опорными элементами, подвижными вдоль балки и опирающимися на подушку нижнего вала. Подшипники 1 и 2 рабочих валков 3 и 4 установлены в цилиндрических расточках подушек 5 и 6, смонтированных в проемах станины 7 прокатной клети кварто. В зазоре между подушками размещены балки 8, каждая из которых установлена на плунжерах гидроцилиндров 9 противоизгиба рабочих валков и опирается на подушки 5 и 6 при помощи опор 10 и 11, смонтированных на балке с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном плоскости, проходящей через оси рабочих валков. Фиксирование опор 10 и 11 в требуемом положении осуществляется стопорными винтами (на рис. 4 не показаны).

Выравнивание распределения радиальных нагрузок на тела качения подшипников в подушках рабочих валков осуществляется следующим образом. При эксплуатации опорного узла рабочих валков с комплектом подушек 5 и 6 (рис. 5), расточки которых имеют цилиндрическую форму, выравнивание распределения реальных нагрузок на тела качения подшипника 1 верхнего рабочего вала обеспечивают при смещении подвижных опор 10 от оси гидроцилиндров 9 на величину  $a$ . При этом нижняя подушка 6 нагружена усилием противоизгиба  $P_{\text{н}}$ , со стороны нижней опоры 11, которое, будучи приложенным к опорной перемычке подушки 6, деформирует перемычку и выравнивает эпюру радиальных нагрузок на тела качения подшипника 2 нижнего рабочего вала 4.

Исходя из условия равновесия балки в статическом положении, величина дополнительного выравнивающего усилия

$$P_{\text{н}} = P_{\text{гн}} \cdot \frac{a}{b}, \quad (1)$$

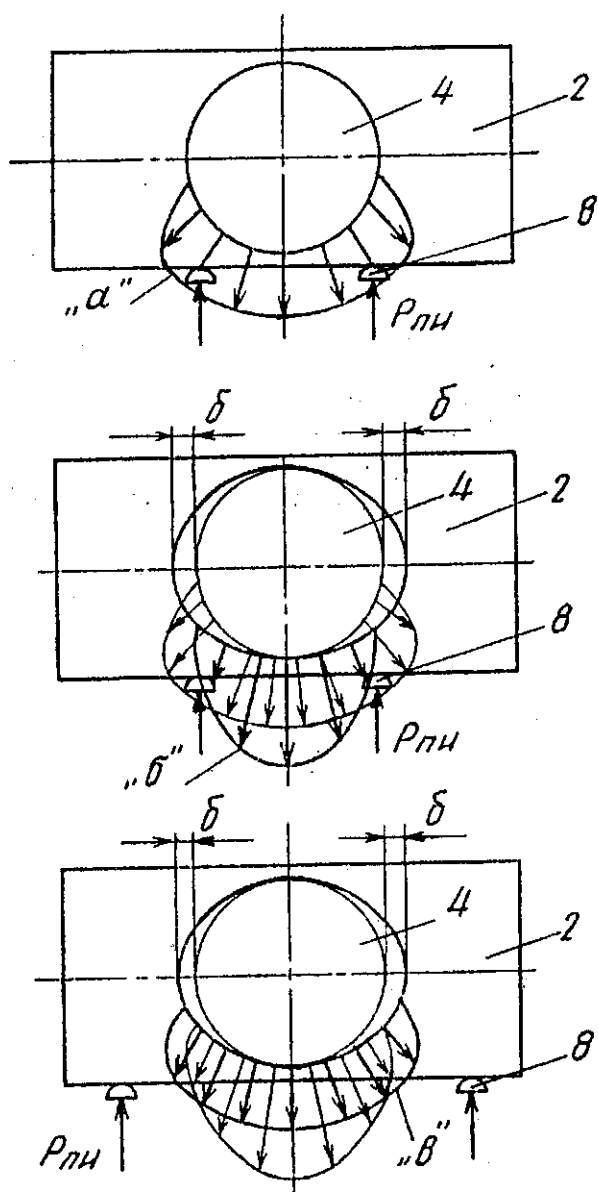
где  $a, b$  – расстояния между осями гидроцилиндров 9 и подвижными опорами 10 и 11 (см. рис. 5).

Внешнее усилие, действующее на подушку 5 верхнего вала 3, равно

$$P_{\text{в}} = P_{\text{гн}} + P_{\text{н}} \text{ или } P_{\text{в}} = P_{\text{гн}} \left( 1 + \frac{a}{b} \right). \quad (2)$$

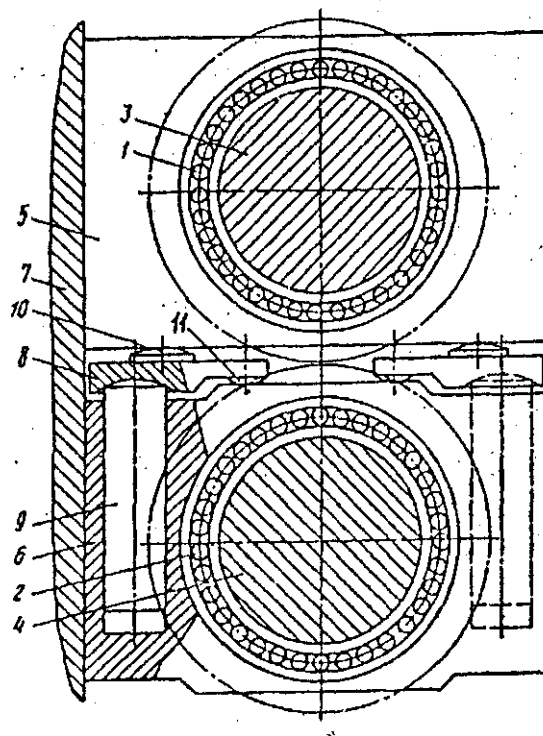
В процессе эксплуатации подушек возможно развитие либо горизонтальной, либо вертикальной овальности расточек.

При появлении горизонтальной овальности расточек в подушках 5 и 6 (рис. 6) величиной  $\Delta g$  (рис. 7, а) происходит искажение исходного равномерного



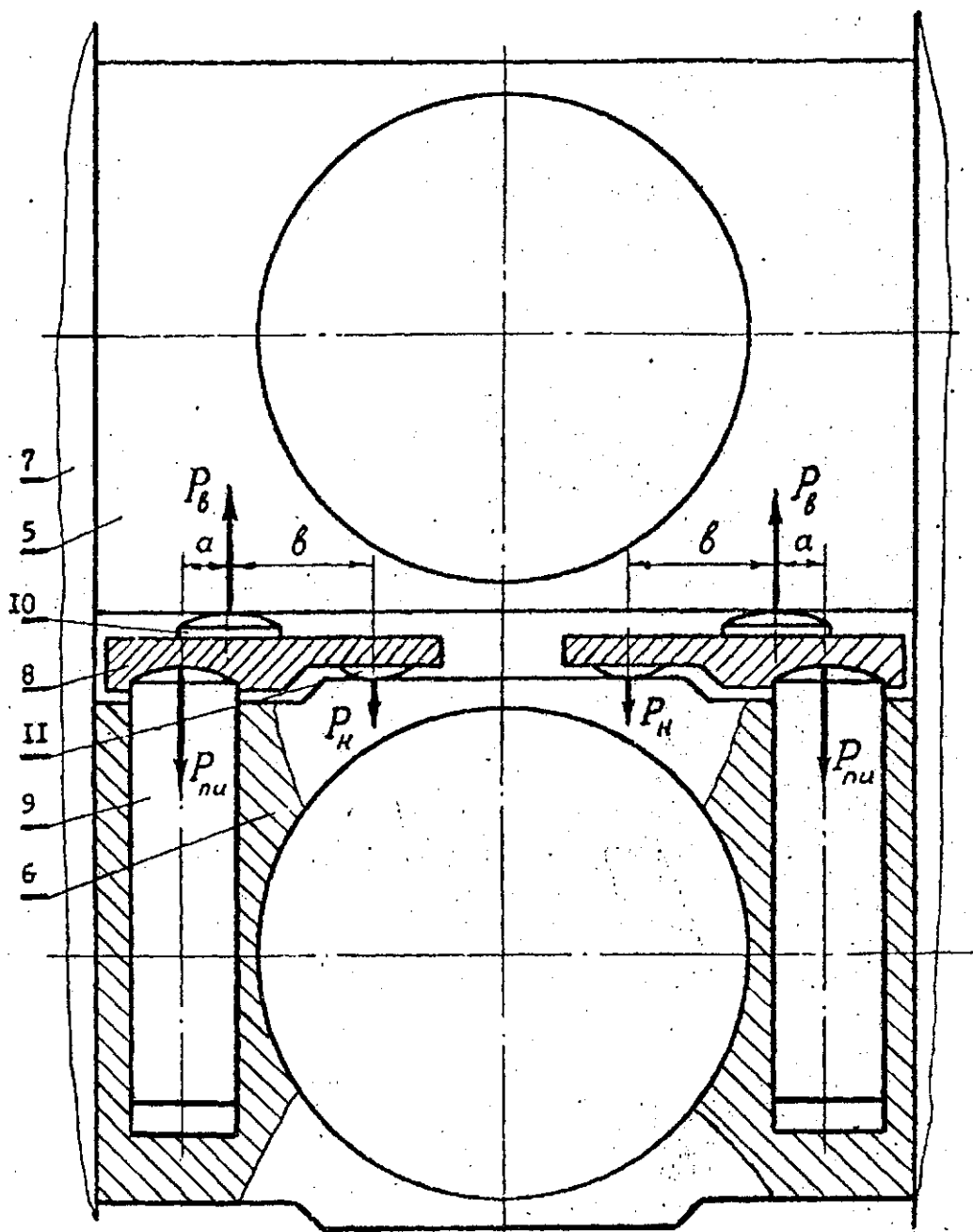
- а) расточка не изношена; расстояние между опорными элементами минимально;  
 б) расточка изношена; расстояние между опорными элементами минимально;  
 в) расточка изношена; расстояние между опорными элементами максимально.

Рисунок 3 - Эпюры распределения радиальных нагрузок на тела качения подшипника.



1, 2-подшипники; 3,4-рабочие валки; 5, 6-подушки; 7-станина прокатной  
клетки; 8-балка; 9-плунжер гидроцилиндра противоизгиба; 10-верхняя  
подвижная опора; 11-нижняя подвижная опора.

**Рисунок 4** - Усовершенствованный опорный узел рабочих валков клетки кварто.



$P_{\text{ги}}$  - усилие противогнба;  $P_b$  - усилие на верхней опоре;  $P_k$  - усилие на нижней опоре;  $a$  - расстояние от оси верхней опоры до оси гидроцилиндра;  $b$  - расстояние от оси верхней опоры до оси нижней опоры.

Рисунок 5 - Распределение усилий в опорном узле рабочих валков клетей кварто.

характера распределения радиальной нагрузки на тела качения, описываемого кривой I. Нагрузка на тела качения концентрируется в средних участках опорной перемычки подушки (рис. 7, а; кривая II).

Для выравнивания эпюры радиальных нагрузок на тела качения подшипников подвижные опоры 10 балок 8 перемещают из исходного положения I (рис. 6) в положение П на расстояние  $a'$ . При этом перемещение опор приводит к увеличению пролета опорной перемычки верхней подушки 5, росту ее прогиба, а следовательно, к разгрузению средних участков и выравниванию эпюры радиальных нагрузок по кривой I (рис. 7, а). Одновременно перемещение опор 10 уменьшает силу  $P_n$  дополнительного поджатия средних участков опорной перемычки нижней подушки 6 к подшипнику 2, что выравнивает эпюру радиальных нагрузок на тела качения подшипника 2.

При развитии вертикальной овальности расточек в подушках 5 и 6 (рис. 6) до величины  $\Delta b$  (рис. 7, б) концентрацию радиальных усилий испытывают тела качения подшипников 1 и 2 в области сопряжения горизонтальной перемычки и вертикальных стенок (кривая Ш, рис. 7, б). Для устранения этого искажения подвижные опоры 10 перемещают в балках 8 в направлении друг к другу на расстояние  $a''$  от плунжера 9. При этом за счет уменьшения пролета опорной перемычки верхней подушки 5 происходит дополнительное поджатие перемычки к телам качения подшипника 1 и выравнивание эпюры радиальных нагрузок по кривой I (рис. 7, б).

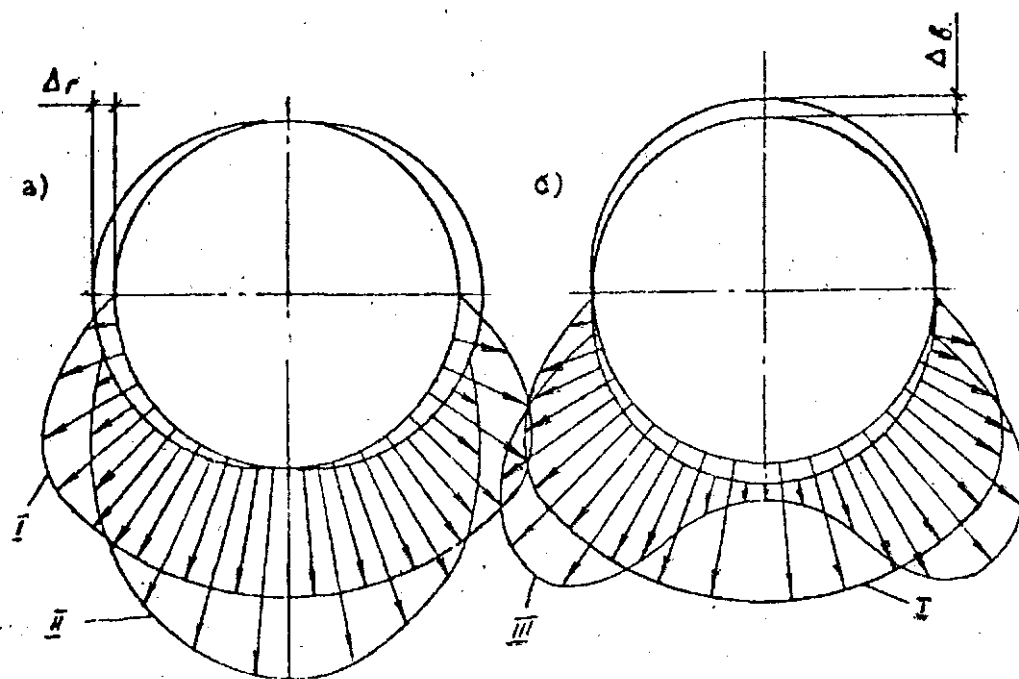
Вместе с тем при перемещении опор 10 возникает дополнительная нагрузка  $P_n$  (см. рис. 5) на перемычку нижней подушки 6, что приводит к росту ее поджатия к телам качения в середине перемычки и выравнивание эпюры радиальных нагрузок по кривой I (см. рис. 7, б).

В процессе регулирования положения подвижных опор 10 и 11 в системе противоизгиба рабочих валков изменяются нагрузки. Из формулы (2) следует, что усилие гидрораспора превышает усилие  $P_{гн}$ , создаваемое гидроцилиндрами 9, на величину  $P_{гн} \cdot \frac{a}{b}$ , что позволяет при прежнем давлении в системе противоизгиба увеличить пределы регулирования профиля валков в  $\left(1 + \frac{a}{b}\right)$  раз, либо при сохранении прежних пределов регулирования снизить давление в гидросистеме противоизгиба в  $\left(1 + \frac{a}{b}\right)$  раз.

Размеры  $a$ ,  $a'$ ,  $a''$  в процессе эксплуатации комплекта подушек определяют расчетом, исходя из конкретных конструктивных размеров опорного узла при условии минимальной эквивалентной нагрузки, воспринимаемой подшипниками рабочих валков, либо опыта промышленной эксплуатации опорного узла.

Например, в опорном узле рабочих валков чистовой клетки НШС-1700 горячей прокатки ММК им. Ильича установлены две балки длиной 350 мм, размещенные на плунжерах гидроцилиндров противоизгиба рабочих валков, и опирающиеся на верхнюю и нижнюю подушки при помощи подвижных опор, расстояние между которыми в пределах одной подушки меняется от 640 мм до 720 мм. При этом устраняется неравномерное распределение радиальных нагрузок на тела качения подшипников при овальности расточек до  $\pm 0,2$  мм, что позволяет повысить долговечность подшипников в подушках нижнего рабочего валка на 25...30%, а также увеличить срок службы элементов гидросистемы противоизгиба до ее полной амортизации на 3.5%.



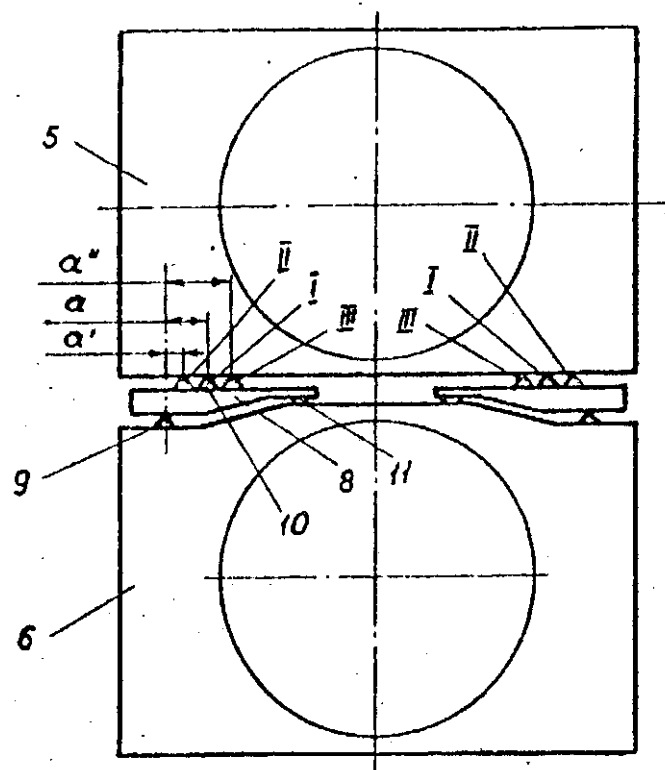


I-при неизношенной расточке;  
 II-при появлении горизонтальной овальности расточки;  
 III-при появлении вертикальной овальности расточки;  
 $\Delta r$ -величина горизонтальной овальности;  
 $\Delta \delta$ -величина вертикальной овальности.

Рисунок 7 - Эпюры распределения радиальных нагрузок на тела качения подшипника.

#### Перечень ссылок

1. Валковые узлы и качество листового проката / Горелик В. С, Елякин В. Д., Зинин В. К, Горячовская О. М.-К. : Техніка, 1989.-127с.
2. Горелик В. С, Клименко В. М., Богатырев В. М. Влияние усилий противоизгиба на долговечность подшипников рабочих валков // Листопркатное производство.-1973.-№2.-С.69-72.
3. Штам У., Хейнц В. Расчет подшипников валков с противоизгибом // Черные металлы.-1968-№24.-С.43-49.
4. Горелик В. С, Богатырев В. М. Экспериментальное определение нагрузок в малорядном подшипнике//Вестник машиностр.-1976.-№8.-С.23-24.
5. А. с. 1727276 СССР, МКИ В 21 В 31/02. Опорный узел рабочих валков клетки кварто.
6. А. с. 1773518 СССР, МКИ В 21 В 31/02. Опорный узел рабочих валков клетки кварто.



I, а-начальные положения опоры;

II, а'-положение опоры при появлении горизонтальной овальности расточки;

III, а''-положение опоры при появлении вертикальной овальности расточки.

Рисунок 6 - Перемещение верхней опоры при появлении овальности расточек.